المبادلات الحرارية Heat exchangers

المبادلات الحرارية هى أجهزة يتم فيها الإنتقال الحرارى بين مائعين ولذلك فهى تستخدم فى عملية تسخين أو تبريد الأغذية السائلة حيث - يستخدم مع الغذاء السائل مادة سائلة أخرى (مائع أخر) يكون باردا عندما يكون المطلوب تبريد الغذاء ويعرف (بمائع التبريد) ويكون ساخنا عندما يكون المطلوب تسخين الغذاء ويعرف (بمائع التسخين).

ولذلك تستخدم تلك الأجهزة فى عمليات بسترة الألبان والعصائر وتوجد عدة أنواع من تلك الأجهزة - فيما يلى بعضها:

أولا: المبادلات الحرارية ذات الأنبوبتين Double pipes heat exchangers:

كما هو واضح من إسمها فهى تتكون عادة من أنبوبتين يحيطان ببعض حيث يمر فى الأنبوبة الداخلية المادة الغذائية المطلوب تبريدها أو تسخينها يمر خارج الأنبوبة الداخلية وسيط التسخين أو التبريد.

ويمكن أن يتم عملية الإمرار كما يلى:

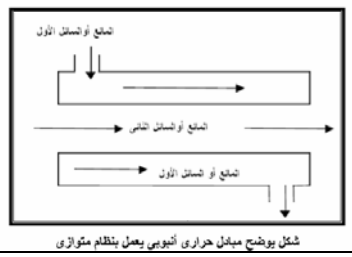
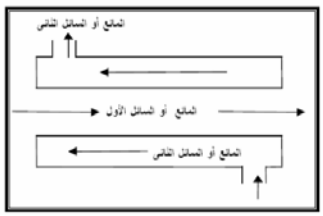
(١) فى إتجاة موازى Parallel flow:

حيث يتم إدخال كل من المادة الغذائيه ووسط التسخين أو التبريد من نفس الطرف ويمران داخل الأنابيب متوازيان ويخرجان من الطرف الأخر.

(٢) فى إتجاة مضاد Counter flow:

وفى هذه الحالة تدخل المادة الغذائية من أحد طرفى الجهاز بينما يدخل.وسيط التسخين أو التبريد من الطرف الأخر فإن المادة الغذائية تخرج من طرف مخالف أيضا لطرف خروج وسيط التسخين أو التبريد والشكل التالى هو رسم تخطيطى يوضح المبادل الحرارى مزدوج الأنبوبة فى حالة الإمرار المتوازى والإمرار العكسى أو المضاد.

ويلاحظ أننا إعتبرنا الطرف الذى يدخل منه وسيط التبريد هو الطرف رقم ١ وبالتالى فالطرف الآخر هو رقم ٢ فى كل من حالة الإمرار العكسى والمتوازى.

 شكل يوضح مبادل حرارى أنبوبى يعمل بنظام متوازى	 شكل يوضح مبادل حرارى أنبوبى يعمل بنظام الإمرار العكسى أو المضاد
إمرار متوازى	إمرار مضاد (عكسى)

الشكل التالى يوضح العلاقة.بين درجة حرارة كل من الوسيطين فى المبادل الحرارى وطول أو مساحة سطح المبادل الحرارى فى حالة الإمرار المتوازى وكذلك العكسى.

نلاحظ أنه فى المبادلات الحرارية تنقل كمية من الحرارة من وسط التسخين إلى وسيط التبريد جدار الأنبوبة الداخلية للمبادل الحرارى وبالتالى فإنه يمكن تطبيق معادلة الموازنة الحرارية التالية.

كمية الحرارة المفقودة = كمية الحرارة المكتسبة.

وبالتالى فإنه يمكن الحصول على المعادلة التالية:

$$Q = m_h \, c_{ph} \, \Delta t_h = m_c \, c_{pc} \, \Delta t_c$$

حيث:

(m) معدل إنسياب الكتلة.

(Q) معدل إنتقال الحرارة (معدل إكتساب الحرارة) ووحداتها (وات).

(m_h) معدل إنسياب الكتلة ووحداتها (كجم/ث).

(c_{ph}) الحرارة النوعية ووحداتها (كيلو جول/كيلو جرام. كالفن).

(Δt_h) فرق درجتى حرارة (وسيط التسخين) (كالفن).

يلاحظ أن معدل إنتقال الحرارة (Q) المذكور فى المعادلة السابقة يمكن أيضا حسابه من المعادلة التالية:

$$Q = U_i \, A_i \, \Delta t$$

$$Q = U_o \, A_o \, \Delta t_{lm}$$

(Δt_{lm}) المتوسط الوغاريتمى للفرق بين درجتى حرارة الوسيطين ويتم حسابه من المعادلة التالية:

$$\Delta t_{lm} = \{[\Delta t_1 - \Delta t_2] / [\ln (\Delta t_1/\Delta t_2)]\}$$

حيث:

(Δt_1) هى الفرق بين درجتى حرارة الوسيطين عند الطرف ١ للمبادل الحرارى.

(Δt_2) الفرق بين درجتى حرارة الوسيطين عند الطرف ٢ للمبادل الحرارى.

يمكن حساب (U) من المعادلة السابق ذكرها فى المعادلة السابقة وفى تلك الحالة ستكون المعادلة كما يلى:

يلاحظ أن المبادل الحرارى العكسى ذو كفاءة أعلى من المبادل الحرارى المتوازى حيث أننا نجد قيمة (Δt_{lm}) لمبادل حرارى معين تكون عالية فى حالة التبادل العكسى عنها فى حالة التبادل المتوازى لنفس العملية.

(٢) المبادل الحرارى ذوالألواح:

يتكون هذا النوع من المبادلات الحرارية من عدة ألواح تكون موازيه لبعضها وتضغط مع بعضها فى إطار بطريقة ما حيث تترك فراغات بينها وبالتالى يمرر كل من وسيط التسخين أو التبريد فى تلك الفجوات أو الفراغات بحيث يكون أحد وجهى كل لوح معرض لأحد الوسيطين والوجه الآخر معرض للوسيط الثانى وبالتالى تنقل الحرارة بين الوسيطين عبر جدر تلك الألواح ولذلك فإن تلك الألواح تكون جيدة للتوصيل الحرارى وسمكها صغير إلى أقل درجة حيث يمكن أن تتحمل ضغط كل من وسيط التسخين والتبريد.

ويتميز هذا النوع من المبادلات الحرارية بما يلى:-

١- فحصل على أكبر مساحه يتم عبرها التبادل الحرارى ولكنها تشغل أصغر حيز ممكن بالمقارنة بالحيز الذى تشغلة المبادلات فى النوع السابق.
٢- لها كفاءة عالية فى التبادل الحرارى نظرا لضيق الفجوات التى تمر فيها وسيطى التسخين والتبريد.
٣- سهلة التنظيف.
٤- سهولة إجراء عمليات الصيانة.
٦- يمكن زيادة أو تقليل سعة المبادل الحرارى بإضافة أو نزع عدد مناسب من الألواح

وفيما يلى الأبعاد الشائع إستخدامها فى الألواح:

١- تصنع الألواح من الصلب الغير قابل للصدأ المصقول ويتراوح سمك الألواح من ٠.٥-١.٢٥مم.
٢- الفراغات بين الألواح يكون سمكها متراوحا بين ٢-٦مم.
٣- المساحة السطحية لكل لوح والتى يتم عبرها التبادل الحرارى تتراوح بين ٠.١-٠.٨م٢.

ومن المبادلات الحرارية ذات الألواح الشائع إستخدامها فى مصانع الأغذية والألبان هى ما تستخدم فى بسترة العصائر والألبان وهى تضم ثلاث وحدات من تلك النوع من المبادلات الحرارية تعرف الأولى بإسم (Generation section) وفيها تتم عملية التسخين الإبتدائى للمادة الغذائية الخام (وسيط تبريد) حيث يتم تسخينها بإستخدام المادة الغذائية التى تم تسخينها تماما وبالتالى فإن فى هذا القسم يتم أيضا عملية تبريد جزئى للمادة الغذائية التى تسخينها تماما.

أما القسم الثانى فيعرف بإسم قسم التسخين (Heating section) وفيه يتم تسخين المادة الغذائية إلى الدرجة المطلوب الوصول إليها وبالتالى يستخدم فيها وسيط تسخين عادة ما يكون الماء الساخن.

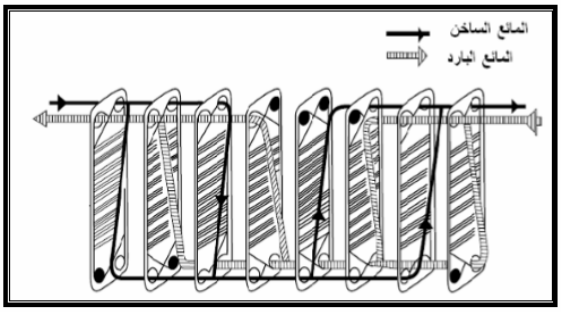
أما القسم الثالث وهو قسم التبريد (Colling section) حيث يمرر فيه المادة الغذائية التى تم تبريدها جزئيا فى القسم الأول حتى تنخفض درجة حرارتها إلى الدرجة المطلوبة وبالتالى يتم إستخدام وسيط تبريد عادة ما يكون الماء البارد.

تتضح مما سبق أنه يلزم وجود وسيط تسخين وهو الماء الساخن وعادة ما يتم علية بإستخدام سخان ماء كهربائى حيث يخرج منه الماء ساخنا عند الدرجه المطلوبة - وبعد إمرارها فى قسم التسخين يعاد مرة أخرى إلى السخان الكهربائى.

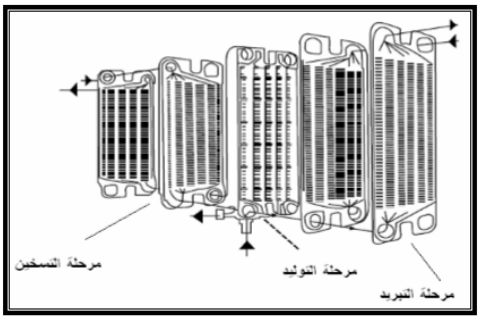
يتضح كذلك أنه لابد من وجود وسيط التبريد وهو الماء البارد ويتم الحصول عليه بتبريد الماء بإمراره على وحدة تبريد داخل خزان يعرف بإسم (Ice water bank)

وبعد أن يبرد الماء إلى الدرجة المطلوبه يخرج من (Ice water bank) إلى قسم التبريد فى جهاز المبادل الحرارى وعندما يخرج الماء من قسم التبريد يدفع مرة أخرى إلى (Ice water bank) ليتم تبريده وإعادة إستخدامة.

وفيما يلى رسم تخطيطى يوضح ترتيب الألواح فى مبادل حرارى ذو ألواح وينطبق علية القوانين السابقة فى الإمرار العكسى:



شكل تخطيطى يوضح المبادل الحرارى ذو الألواح



شكل تخطيطى يوضح المبادل الحرارى متعدد المراحل

$$Q = U\ A\ \Delta t_{lm}$$

حيث:

(x) سمك اللوح.

(h_1) السائل الساخن.

(k) معامل التوصيل الحرارى.

(h_2) السائل البارد.